

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：32643

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03953

研究課題名（和文）セルロースナノファイバーや音響メタマテリアルを用いた自動車用防音材の開発

研究課題名（英文）Development of soundproofing materials for automobiles using cellulose nanofibers and acoustic metamaterials

研究代表者

黒沢 良夫（KUROSAWA, Yoshio）

帝京大学・理工学部・教授

研究者番号：60631885

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：セルロースナノファイバーに関し、フェルトにゲル状のCNFを吹きかけ乾燥させたサンプルの吸音率、流れ抵抗を計測した。吸音率のピーク周波数は低周波側に移動した。流れ抵抗は、おおよそCNFの量に正の相関で大きくなることが確認できた。

音響メタマテリアルに関し、PPをハニカム構造に加工したものの上下にフィルムを貼り、4種類の穴パターンと3種類の積層パターンの組み合わせで透過損失を計測した。ゴム層を最上部に置くことにより、すべてのモデルで遮音性能が大きく向上することを確認できた。テストピースと同様のFEモデルを作成し、計算結果は計測結果をおおよそ再現できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

セルロースナノファイバーに関して、従来の研究では樹脂などに混ぜて強度・剛性をUpする研究がほとんどであったところ、吸音に関する効果を実証できた。

音響メタマテリアルに関して、従来の研究では吸音に関するものが多かったが、他の材料と組み合わせることで遮音に関する音響性能について解明出来た。

研究成果の概要（英文）：For cellulose nanofibers, the sound absorption coefficient and flow resistance of Mr./Ms. pulled by spraying gel-like CNF on felt and drying it were measured. The peak frequency of the sound absorption coefficient moved to the low frequency side. It was confirmed that the flow resistance was positively correlated with the amount of CNF.

For acoustic metamaterials, PP was processed into a honeycomb structure, but a film was applied to the top and bottom, and transmission loss was measured by combining four types of hole patterns and three types of laminated patterns. By placing the rubber layer on the top, we were able to confirm that the sound insulation performance was greatly improved in all models. A finite element model similar to that of the test piece was created, and the calculation results were able to roughly reproduce the measurement results.

研究分野：機械力学およびメカトロニクス関連

キーワード：音響 振動 CAE 吸音 遮音 有限要素法 音響メタマテリアル セルロースナノファイバー

1. 研究開始当初の背景

近年、CO2 排出削減のため、ハイブリッド自動車や電気自動車の販売台数・車種が増加している。これらの車の特有の騒音（発進時のモーター音、停止時のモーター回生音、インバーター等の高周波音）の低減には多くの吸遮音材が必要である。また、国内では 2020 年より国連の車外騒音規制が導入され、タイヤ音対策などが急務である。

2. 研究の目的

上記の騒音を低減する吸音・遮音アイテムの高性能化・軽量化には、CNF（セルロースナノファイバー）や、音響メタ材料が有効であると考えられるが、これらの音響特性は解明されていない部分も多く、自動車への適用も検討が始められたばかりである。そのため、これらの吸音・遮音性能を把握し、音響性能に対する要因を明らかにする。

3. 研究の方法

まずは個々の特性を独自の伝達マトリックス法や有限要素法を用いて解明・分析し、予測技術・解析手法の開発を行う。次にそれらを自動車に用いて効率的な車内音・車外音対策が行えるよう、従来技術などを活用・改良しつつ最適化検討や実験検証を行う。

4. 研究成果

セルロースナノファイバー（CNF）をフェルトに積層し、吸音性能や流れ抵抗を計測した。CNF とは、木・パルプをナノレベルまで解繊した繊維である。一般的に、繊維径が細い繊維ほど吸音性能は高く、従来のフェルトに追加することで吸音率を向上できると考えた。厚さや密度の異なる 3 種類のフェルトに CNF を追加し、追加した量と吸音率の変化・流れ抵抗の変化について分析を行った。本研究では、CNF は日本製紙（株）のセレンピア TC-01A を用いた。こちらは、繊維幅は約 2~4nm、セルロース分子 20~30 本が規則的に並んだ極細繊維 1%が水分散体したゲル状になっており、霧吹きでフェルトに吹き付け乾燥させてテストピースとした。音響管で垂直入射吸音率を計測したため直径 29mm の円柱状となっている。吹き付け前のフェルトと比較すると上面が白っぽくなった。これは、上面に乾燥した CNF の膜が形成されたためである。

3 種類のフェルトにゲル状の CNF を吹きかけ乾燥させたサンプルの吸音率、流れ抵抗を計測した。ゲル状の CNF は単体で乾燥するとフィルム状になった。フェルトに吹きかけると、フェルトの上面に通気抵抗の高い層が形成された。図 1 にフェルト単体の場合と CNF を積層した場合の吸音率の変化を示す。左から目付+25.6g/m²、+37.6g/m²、+55.8g/m² の場合である。CNF を積層すると、3 種類のフェルトとも吸音率のピーク周波数が低周波側に移動した。これは、CNF の層により通気のない（通気抵抗の大きい）フィルムを積層した場合と同様の効果と考えられる。また、CNF の追加による目付の変化と CNF +フェルトの第 1 ピーク周波数はおおそ負の相関があることも確認できた。

カトーテック製の通気性試験機 KES-F8-AP1 を用いて流れ抵抗を計測した結果を示す。図 2 に 3 種類のフェルトについて、積層した CNF の量とテストピースの流れ抵抗値が何倍に変化したかを示す。なお、CNF 積層前のフェルトの流れ抵抗は上から約 39000[Ns/m⁴]、47000[Ns/m⁴]、270000[Ns/m⁴]であった。流れ抵抗は、おおそ CNF の量に正の相関で大きくなることを確認できた。

今後は、さまざまな密度のフェルトに積層したり、CNF の変化量を大きくし、より詳細な分析や吸音メカニズムについて解析する予定である。

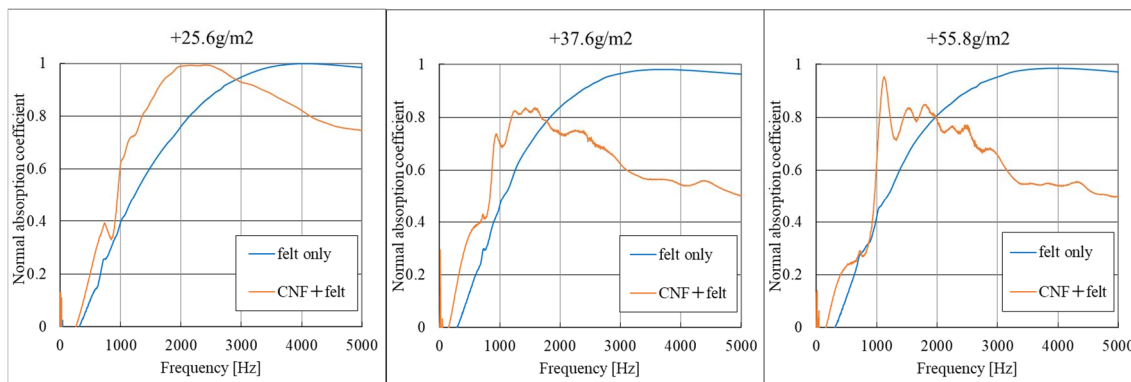


図 1 CNF 積層によるフェルトの吸音率の変化

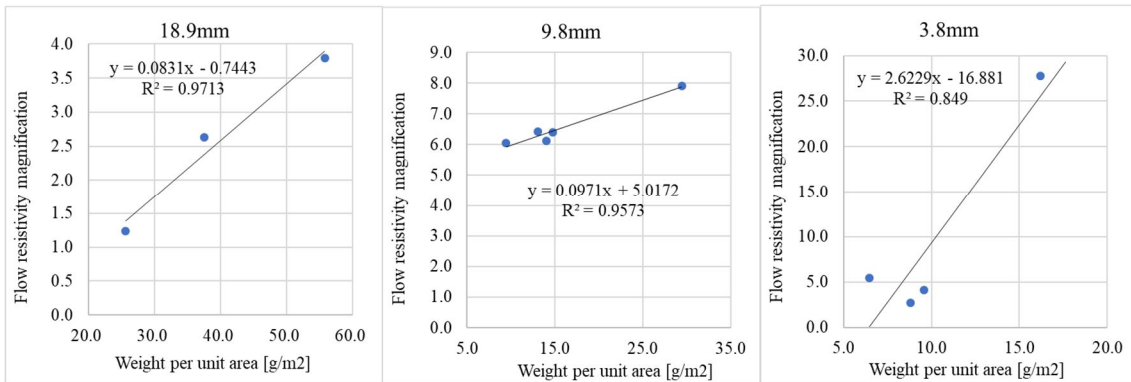


図2 CNF 追加による目付の変化と流れ抵抗の変化倍率の関係

近年、自動車の快適性が重視され、車内騒音の低減（車内静粛性の向上）がすすんでいる。環境問題への対応から、電気自動車やハイブリッド車の割合が増えてきている。これらの自動車では、エンジン騒音が減った分、風切り音やタイヤ騒音が目立つ結果となり、対策が必要となってきている。ドアミラー、ピラー形状、車両外観等の風切り音の音源対策やタイヤ単体での騒音対策にも限界があり、コスト・重量も考慮すると車体側での対策が重要である。また、日本では国連の車外騒音規制への対応もあり設計構想段階から低騒音化が求められている。新たな車外騒音規制では、従来と走行条件が異なり、車外騒音に対するタイヤのパターンノイズの寄与が大きくなっている。そのため、これらの騒音を音響メタマテリアルを用いて低減することを考えた。メタマテリアルとは人工的に作られた物質という意味であるが、音響で用いる場合は、膜振動や共鳴を持つ小型の微細構造を周期的に配置するものが多い。本研究では1枚のPP（ポリプロピレン）のシートを折りたたみ、六角形の断面形状のハニカムの繰り返し構造を作る。そこにPPやPE（ポリエステル）からなる薄いフィルムを接着することにより、フィルムの面外振動により音響エネルギーを吸収する音響メタマテリアルを用いた。本研究では、フィルムに穴を開けることでヘルムホルツ共鳴による吸音効果を付与した構造のテストピースについて、自動車トリムへの適用を考慮し、本構造にフェルトを積層したテストピースを作成した。テストピースの最上部にゴム、音響メタマテリアルの上面、下面、両面にフェルトを積層した場合、それぞれ穴なし、上面穴あり、下面穴あり、両面穴ありの場合に遮音性能にどのように影響があるか計測結果を比較した。また、有限要素法を用いてモデルを作成し、遮音性能の解析を行った。計測結果との比較等を報告する。

自動車用防音材として用いる、PPをハニカム構造に加工したものの上下にフィルムを貼り、4種類のパターン（穴なし、上面、下面、両面）でセルの中央に穴を開けた音響メタマテリアルのテストピースを作成し、3種類の積層パターン（パネル+フェルト+メタマテリアル、パネル+メタマテリアル+フェルト、パネル+フェルト+メタマテリアル+フェルト）と組み合わせて、最上部にゴムを積層した計12種類の透過損失の計測を行った。ゴムを最上部に置くことにより、すべてのモデルで遮音性能が大きく向上した。下面フェルトでは、約1250~3150Hzにおいて穴なし、下面穴と上面穴、両面穴で差が生じ、上面フェルトでは約1250~3150Hzにおいて穴なし、上面穴と下面穴、両面穴で差が生じ、下面に穴を開ける方が高性能になった（図3左グラフ）。上下面フェルトでは計測結果において1250Hz付近で穴径による差がみられた。

また、テストピースと同様のFEモデルを作成し、透過損失を計算した。計算結果は下面フェルト、上面フェルトでは計測結果をおおよそ再現できた（図3右グラフ）。上下面フェルトの計測結果における穴位置による透過損失の違いをFEモデルで再現することが今後の課題である。

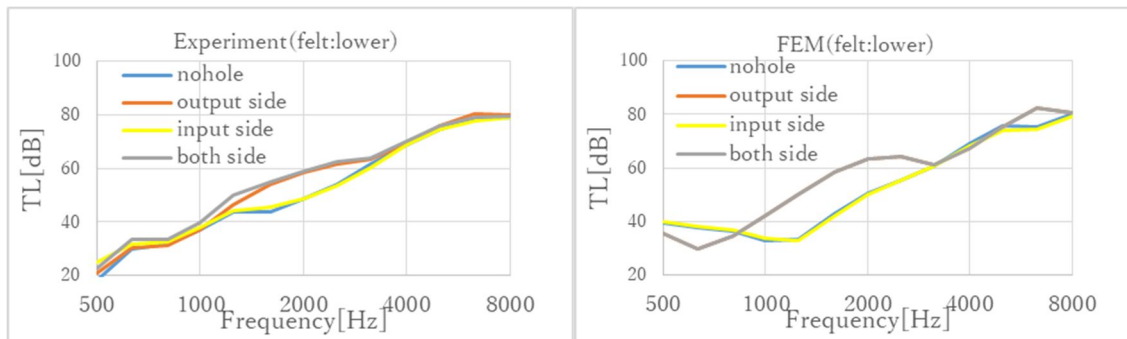


図3 穴位置の違いによる遮音性能の変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Design and Dynamics Conference 2022
2. 発表標題 音響メタマテリアルにフェルトを積層した防音材の遮音解析
3. 学会等名 黒沢 良夫、岩井大地、福井 一貴、原山和也
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 黒沢良夫、福井一貴、原山和也
2. 発表標題 ヘルムホルツ共鳴を利用した音響メタマテリアルの吸音解析
3. 学会等名 自動車技術会2021年春季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒沢 良夫、岩井大地、福井 一貴、原山和也
2. 発表標題 ヘルムホルツ共鳴と膜振動を利用した 音響メタマテリアルの吸音解析
3. 学会等名 Design and Dynamics Conference 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩井大地、黒沢 良夫、福井 一貴、原山和也
2. 発表標題 ヘルムホルツ共鳴と膜振動を利用した 音響メタマテリアルの遮音解析
3. 学会等名 制振工学研究会2021技術交流会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 黒沢良夫、道下皓伎
2. 発表標題 CNF（セルローズナノファイバー）を積層したフェルトの吸音性能に関する研究
3. 学会等名 日本音響学会10 月度建築音響研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 岩井大地、黒沢良夫、福井一貴、原山和也、荏原裕典
2. 発表標題 音響メタマテリアルにフェルトとゴム層を積層した防音材の遮音解析
3. 学会等名 制振工学研究会2023技術交流会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------